

Docket No.: P2002,0659

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313 20231.

By: 

Date: September 17, 2003

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Wolfgang Henke et al.
Appl. No. : 10/637,193
Filed : August 8, 2003
Title : Method for the Characterization of an Illumination Source in an Exposure Apparatus

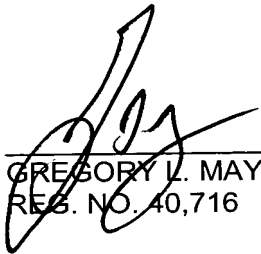
CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner for Patents,
Alexandria, VA 22313-1450
Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 36 422.2 filed August 8, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,



GREGORY L. MAYBACK
REG. NO. 40,716

Date: September 17, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/mjb



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 36 422.2

Anmeldetag: 8. August 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungs-
quelle in einem Belichtungsgerät

IPC: G 01 J, G 03 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Ebert

Beschreibung

Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle in einem Belichtungsgerät

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle in einem Belichtungsgerät, welches die Beleuchtungsquelle, eine Maskenhalterung, ein optisches Linsensystem sowie eine Substratebene umfaßt.

10

Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Bestimmung einer Lichtquellenverteilung der Beleuchtungsquelle in dem Belichtungsgerät.

15

Im Bereich der Halbleiterfertigung werden Strukturen auf Substraten mit Hilfe einer Belichtung von photoempfindlichen Schichten auf den Substraten in einem Belichtungsgerät durchgeführt. Bei den Substraten kann es sich beispielsweise um Halbleiterwafer, Masken oder Flat Panels etc. handeln. Nach Durchführung eines Entwicklungsschrittes werden die belichteten Strukturen im allgemeinen in einem Ätzschritt in das Substrat übertragen. Da oftmals möglichst hohe Strukturichten zu erzielen sind, stellt bei diesen Schritten die Erzeugung von Strukturen mit möglichst kleinen Strukturbreiten eine große Herausforderung dar.

25

Mit einer ähnlichen Problematik verbunden ist das Ziel möglichst große Lagegenauigkeiten der verschiedenen Strukturebenen einer Schaltung relativ zueinander zu erreichen. In jüngster Zeit tritt dabei immer deutlicher ein Fehlerbeitrag hervor, welcher von den Belichtungsgeräten, insbesondere deren Beleuchtungsquellen und Linsensystemen, herrührt. Ursache hierfür ist, daß die Weiterentwicklung hoch qualitativer Linsensysteme kaum mit derjenigen der Prozeßtechnologie für die Genauigkeit der Strukturbildung Schritt halten kann.

35

Fehler im Bereich der Beleuchtungsquelle bzw. des Linsensystems wirken sich besonders in dem Fall aus, wenn die ver-

5
10
15
20
25
30
35
schiedenen Strukturebenen auf einem Substrat sukzessive in unterschiedlichen Belichtungsgeräten erzeugt werden. Oftmals entstehen Fehlerbeiträge aber auch, wenn für unterschiedliche Strukturebenen ein und desselben Substrats jeweils verschiedene Beleuchtungseinstellungen des Linsensystems, der Aperturen oder der Beleuchtungsquellen benutzt werden.

Man geht daher heutzutage zunehmend dazu über, eine Charakterisierung von Beleuchtungsquellen und ihrer Linsensysteme durchzuführen, um den zu erwartenden Fehler bei der Projektion einer Struktur von einer Maske auf ein Substrat in Abhängigkeit von den Beleuchtungseinstellungen oder der aktuell zu projizierenden Struktur abschätzen zu können, oder die Justage bzw. Kalibrierung der Projektionsoptiken entsprechend den Erfordernissen durchzuführen.

Die aus Unzulänglichkeiten einer Beleuchtungsquelle resultierenden Effekte sind unter anderem: Variationen durch eine fokusabhängige Vergrößerung, fokusbedingte laterale Verschiebungen, variierende Printbarkeit von Strukturen, welche eine nahe an der Auflösungsgrenze des Systems liegende Strukturbreite aufweisen in Abhängigkeit vom Strukturdesign, oder eine variierende Beleuchtungsintensität quer über das Belichtungsfeld, d. h. das Vorhandensein von Gradienten. Die durch eine Charakterisierung ermittelten Eigenschaften werden zwischen unterschiedlichen Geräten verglichen, um daraus beispielsweise ein nächstes für die Projektion einer Strukturebene auf ein Substrat zu verwendetes Belichtungsgerät auswählen zu können.

Es kann hierbei insbesondere zwischen Gruppen von Belichtungsgeräten, welche von verschiedenen Herstellern geliefert werden, zu erheblichen Unterschieden kommen, so daß die Ergebnisse einer Charakterisierung schon bei der Beplanung einer Fabrikationsanlage eine Rolle spielen können.

Auch bei der Weiterentwicklung neuer Lithographietechniken spielt die Beschaffenheit einer jeweils betrachteten Beleuchtungsquelle eine erhebliche Rolle, so daß die Ergebnisse einer Charakterisierung vorteilhafterweise als Eingangsdaten für Simulationen von Lithographieprozessen Verwendung finden können.

Bisher wurden für eine Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle Serien von Belichtungen auf einem Substrat durchgeführt. Das Linsensystem wurde derart eingestellt, daß die Beleuchtungsquelle unmittelbar auf das Substrat abgebildet wurde. Hierbei wurden Serien von Belichtungsfeldern erzeugt, wobei für jedes Belichtungsfeld mit dem jeweiligen Abbild der Beleuchtungsquelle ein unterschiedlicher Wert der Belichtungs-
15 tungs-dosis der Beleuchtungsquelle verwendet wurde. In einem Inspektionsgerät, etwa einem optischen Mikroskop oder einem Rasterelektronenmikroskop, wurden die entwickelten Strukturen vermessen und ausgewertet. Ein solches Vorgehen birgt jedoch den Nachteil, daß zwischen den Schritten der Belichtung und
20 der Vermessung notwendigerweise durchgeführte Folgeprozesse einen fehlerbehafteten Einfluß auf das Meßergebnis haben können. Außerdem sind die Kalibrationsmethoden, etwa eine aus der US 6,356,345 B1 bekannte Methode, bei welchen beispielsweise ein vermessenés Linienprofil einer lokalen Belichtungs-
25 stärke zugeordnet wird, aufwendig und teilweise fehlerbehaftet.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle in einem Belichtungsgerät anzubieten, bei welchem die Qualität der
30 Charakterisierung erhöht wird und äußere Einflüsse, die nicht mit der Beleuchtungsquelle im Zusammenhang stehen, weitgehend reduziert werden. Es ist außerdem eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Aufwand zur Durchführung einer Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle bzw. eines Linsensystems zu
35 reduzieren.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den untergeordneten Ansprüchen zu entnehmen.

5 Gemäß der vorliegenden Erfindung werden als Beleuchtungsquelle sowohl das lichtgenerierende Element, etwa ein Laser oder eine Halogenlampe etc., als auch das lichtgenerierende Element zusammen mit dem im Strahlengang des Belichtungsgeräts vor dem Ort der Maskenhalterung angeordneten Teil des Linsensystems aufgefaßt. Der im Strahlengang von der Belichtungsquelle aus gesehen vor der Maskenhalterung angeordnete Teil des Linsensystems umfaßt Aperturen und Blenden zur Definition der Beleuchtungseinstellung, so etwa zur Einstellung einer annularen Beleuchtung. Er umfaßt auch die sogenannten Kondensorlinsen zur Kollimierung der Lichtstrahlen für die Bildung eines im wesentlichen parallelen Strahlenbündels, welches auf eine in der Maskenhalterung angeordnete Maske fällt.

Erfindungsgemäß wird eine besondere Maske bereitgestellt, welche auf einer Vorderseite eine opake Schicht aufweist, in welcher wenigstens ein Doppelspalt angeordnet ist. Die opake Schicht liegt auf einem transparenten Trägermaterial der Maske auf. Der Doppelspalt ermöglicht somit ein Hindurchtreten von Strahlen durch den Spalt und das transparente Trägermaterial der Maske. Der Doppelspalt besteht aus zwei zueinander parallelen Spalten. Die Maske kann auch mehrere Doppelspaltpaare unterschiedlicher Größe und Ausrichtung auf der Maskenoberfläche aufweisen.

30 Die Maske, welche auch als Retikel für eine verkleinernde Abbildung ausgeführt sein kann, besitzt eine Vorder- und eine Rückseite. In vorliegenden Dokument wird die Vorderseite mit derjenigen Seite bezeichnet, auf welcher die opake Schicht mit der darin gebildeten Doppelspaltstruktur angeordnet ist. Es ist möglich, daß weitere transparente oder semitransparente Schichten auf der Vorder- oder Rückseite angeordnet sind. Für die vorliegende Beschreibung wird stellvertretend ange-

nommen, daß die Rückseite durch die Oberfläche des transparenten Glasträgermaterials gebildet wird. Im Falle einer darauf gebildeten semitransparenten oder transparenten Schicht könnte auch deren Oberfläche als Oberfläche der Rückseite angenommen werden.

Die Maskenhalterung in dem Belichtungsgerät weist in einer Anordnung mit dem optischen Linsensystem und der Substratebene die Eigenschaft auf, daß die Rückseite einer in ihr eingebrachten Maske während einer Belichtung über das optische Linsensystem zu einer scharfen Abbildung in der Substratebene führt. Bei einer herkömmlichen Belichtung wird daher die Vorderseite der Maske zur Unterseite der Maskenhalterung hin gewendet. Das bedeutet, daß gemäß dem Stand der Technik die Rückseite mit der Oberfläche des transparenten Glasträgersubstrats im Strahlengang zur Lichtquelle hingewendet ist.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird hingegen die beschriebene Maske umfassend den mindestens einen Doppelspalt mit der Vorderseite in Richtung auf die Beleuchtungsquelle hin in die Maskenhalterung eingespannt. Die Rückseite der Maske befindet sich nun in derjenigen Position, in welcher eine auf ihr gebildete Struktur mit scharfem Kontrast in die Substratebene abgebildet wird, also auf der Unterseite der Maskenhalterung. Der Abstand der Vorderseite von dieser Position entspricht der Dicke der Maske bzw. des Glasträgermaterials, welches bei heutzutage verwendeten Masken beispielsweise etwa $6.000\text{ }\mu\text{m}$ beträgt.

Als nächster Schritt wird die Belichtungsquelle eingeschaltet, so daß die opake Schicht und der darin gebildete Doppelspalt beleuchtet werden. Aufgrund des Doppelspaltes bildet sich auf der Rückseite der Maske, also auf der Oberfläche des Glasträgermaterials, ein sogenanntes Fernfeld-Interferenzmuster. Dieses Fernfeld-Interferenzmuster wird durch das optische Linsensystem scharf in die Substratebene abgebildet. Dort wird ein Bildsignal des Interferenzmusters aufgenommen,

welches gemäß wenigstens zweier vorteilhafter Ausgestaltungen auf verschiedene Weise durchgeführt werden kann.

Das aufgenommene Interferenzmuster besitzt eine Form, welche
5 von der Ausdehnung der Beleuchtungsquelle, der Belichtungs-
wellenlänge und dem Abstand zwischen den beiden Spalten des
Doppelspaltes abhängt. Sind die Belichtungswellenlänge und
der Doppelspaltabstand bekannt, so läßt sich aus der Form des
Interferenzmusters demnach die Ausdehnung und Helligkeitsver-
10 teilung der Beleuchtungsquelle ableiten.

Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Ausdehnung einer Be-
leuchtungsquelle aus einem aufgenommenen Bildsignal eines In-
terferenzmusters ist in der Literatur beispielsweise als
15 Young'sches Doppelspalatexperiment bekannt. Die Vorgehensweise
wird anhand der Zeichnungen nachfolgend näher erläutert.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird das Bild in der
Substratebene durch einen mit einem photoempfindlichen Lack
20 beschichteten Halbleiterwafer aufgenommen. Das aufgenommene
Interferenzmuster kann anschließend in einem Inspektionsgerät
untersucht werden, wobei die entstandenen Linien des Interfe-
renzmusters auf ihre Breite hin vermessen werden können. Wird
ein Rasterelektronenmikroskop (SEM, scanning electron micros-
25 cope) verwendet, so kann auch ein dreidimensionales Linien-
profil ermittelt werden, welches der lokalen Intensität des
Interferenzmusters auf dem belichteten Halbleiterwafer ent-
spricht.

30 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung können auf dem Substrat-
halter in der Substratebene vorgesehene Sensoren verwendet
werden, um die lokalen Intensitäten des Interferenzmusters in
der Substratebene zu vermessen. Dazu wird vorteilhafterweise
der Substrathalter horizontal innerhalb der Substratebene
35 derart bewegt, daß der Sensor durch das Interferenzmuster
hindurchgefahren wird. Dabei wird in Abhängigkeit von der Po-
sition des Substralthalters bzw. des Sensors die jeweilige In-

tensität gemessen, so daß ein Profil des Interferenzmusters entsteht.

Die Erfindung soll nun anhand eines Ausführungsbeispiels mit
5 Hilfe einer Zeichnung näher erläutert werden. Darin zeigen:

Figur 1 schematisch den Aufbau eines Belichtungsgeräts mit
Belichtungsquelle, Kondensorlinse, erfindungsgemäß
umgedrehter Maske, Objektivlinse und Substratebene,

10

Figur 2 schematisch die Bildung eines Interferenzmusters
aus einem Doppelspalt,

Figur 3 einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Maske,

15

Figur 4 das Profil eines Interferenzmusters, welches sich
auf der Rückseite der erfindungsgemäßen Maske bil-
det,

20

Figur 5 die Bildung von Interferenzmustern für drei Dop-
pelspalte mit jeweils unterschiedlichen Spaltab-
ständen,

25

Figur 6 ein Diagramm mit der ermittelten Kohärenzfunktion
(Kontrast) als Funktion des Spaltabstandes,

Figur 7 eine erfindungsgemäße Maske mit Doppelspaltstruktu-
ren, welche unterschiedlichen Spaltabstand und Aus-
richtung aufweisen,

30

Figur 8 eine Simulation von Kohärenzfunktionen und ein Ver-
gleich mit einer theoretischen Kurve,

35

Figur 9 ein Ausführungsbeispiel zur Bestimmung der Telezen-
trizität einer Beleuchtungsquelle,

Figur 10 ein Diagramm mit einem annähernd linearen Zusammenhang zwischen der durch eine Telezentrität bedingten lateralen Verschiebung bei einer Abbildung auf ein Substrat als Funktion der Neigung der Beleuchtungsquelle gegenüber der optischen Achse des Linsensystems.

Ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist schematisch in Figur 1 dargestellt. Die Anordnung zeigt eine Beleuchtungsquelle 1, welche eine Ausdehnung θ besitzt, eine Kondensorlinse 2, eine Maskenhalterung 3, in welcher eine umgedrehte Maske 10 angeordnet ist, eine Objektivlinse 4 sowie eine Substratebene 5. Die Maske 10 ist dahingehend umgedreht, daß Doppelspaltstrukturen 20, welche in einer opaken Schicht 25 auf der Vorderseite der Maske 10 gebildet sind, der Kondensorlinse 2 bzw. der Beleuchtungsquelle 1 zugewandt sind. Die Rückseite 12 der Maske 10 wird durch die Positionierung der Maskenhalterung 3, in welcher die Maske 10 eingespannt ist, relativ zum Objektivlinsensystem 4 und der Substratebene 5 in die Substratebene 5 scharf abgebildet.

In der schematischen Darstellung der Figur 2 ist das entstehende Interferenzmuster 30 in der Substratebene 5 dargestellt. Die Beleuchtungsquelle 1 strahlt Licht der Wellenlänge λ aus, welches durch die Doppelspalte mit dem Spaltabstand d zu einem Interferenzmuster 30 auf der Rückseite der Maske 10 führt.

Ein Schnitt durch die Maske ist in Figur 3 dargestellt. Die Maske 10 besitzt eine Dicke z von $6.300 \mu\text{m}$. Das Interferenzmuster 30 auf der Rückseite des Glasträgersubstrats der Maske 10 wird über das Objektivlinsensystem 4 in die Substratebene 5 abgebildet, wo es durch verfahrbare Sensoren abgerastert wird. Ein typischerweise auftretendes Signal ist in Figur 4 dargestellt. Dort ist die Intensität, welche mit Hilfe der Sensoren gemessen wird, gegen die Position auf dem Wafer aufgetragen. Das Interferenzmuster wird dabei mit einer Auflö-

sung von 150 nm durch die Sensoren wiedergegeben. Diese Grenze entspricht den heutzutage bereits auf Substrathaltern verschiedener Hersteller eingesetzten Sensoren, welche hierbei allerdings im allgemeinen zur Adjustierung des Substrathalters verwendet werden.

In dem Ausführungsbeispiel wird eine wie in Figur 7 dargestellte Maske 10 verwendet. Diese weist mehrere Doppelspaltstrukturen 20, 20', 20'', 20''' auf. Diese unterscheiden sich durch jeweils unterschiedlich große Spaltabstände d1, d2, d3 etc.

Durch die in Fig. 7 dargestellte Maske 10 werden mehrere Spaltstrukturen in Interferenzmuster 30 auf der Rückseite 12 der Maske 10 überführt. Die in der Substratebene 5 aufgenommenen Bildsignale der projizierten Interferenzmuster 30 sind in Figur 5 für drei der Spaltstrukturen dargestellt. Da nur genau eine Maske verwendet wurde, sind die Beleuchtungsbedingungen, d.h. die Ausdehnung θ der Belichtungsquelle sowie die Linseneinstellungen für die Spaltstrukturen jeweils identisch. Die Variation des Spaltabstandes führt zu einem unterschiedlichen Interferenzmuster, wie in Figur 5 zu sehen ist. Aus dem Interferenzmuster wird ein Kontrast c1, c2, c3 bestimmt, welcher auch Kohärenzfunktion genannt wird. Der Kontrast c mit

$$c = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

repräsentiert den Unterschied zwischen dem Maximum und dem Minimum der für eine gegebene Waferposition bestimmten Interferenzfunktion.

30

In Figur 6 ist der so bestimmte Kontrast als Funktion des Spaltabstands d aufgetragen. Die Funktion entspricht der mathematischen Spaltfunktion. Sie weist Nullpunkte auf, d.h. für bestimmte Doppelspaltabstände d ergibt sich ein verschwindender Kontrast. Gemäß dem Ausführungsbeispiel wird bei bekanntem Doppelspaltabstand, bekannter Wellenlänge der Be-

35

leuchtungsquelle der Kontrast ermittelt, wozu erfindungsgemäß bereits die Einrichtung nur eines Doppelspalts auf der Maske ausreicht. Zur Vermeidung von Streufehlern ist es jedoch sinnvoll, die in Figur 7 dargestellte Maske 10 mit unterschiedlichen Doppelspaltabständen $d_1 - d_4$ für eine Vielzahl von Doppelspaltstrukturen 20 - 20''' zu verwenden.

Als nächster Schritt wird die in Figur 6 dargestellte Kohärenzfunktion bzw. der Kontrast als Funktion des Doppelspaltabstands d einer Fourier-Transformation unterzogen, so daß hieraus eine räumliche Verteilung der Beleuchtungsquelle unter Ausnutzung des Van Cittert - Zernike Theorems ermittelt wird. Der Begriff "räumlich" ist hierbei so zu verstehen, daß es sich um eine richtungsabhängige Helligkeitsverteilung $I(\phi, \theta)$ handelt.

In Figur 8 ist das Ergebnis einer Simulation für verschiedene Spaltgrößen bzw. -breiten s gezeigt, wobei als Einstellungen der Beleuchtungsquelle eine numerische Apertur von 0,7 bei einer Wellenlänge von 248 nm verwendet wurde. Die durchgezogenen Linien zeigen die theoretische Kurve, welche sich gemäß Figur 6 aus den geometrischen Zusammenhängen ergibt, sowie als Kreise der Simulationsergebnisse für die Projektion eines Interferenzmusters 30 von Doppelspaltstrukturen, wie sie in Figur 7 zu sehen sind.

Um überhaupt eine Fernfeld-Interferenzstruktur erhalten zu können, müssen die Spaltstrukturen 20 der Doppelspalte kleiner als ein bestimmter Grenzwert sein. Im anderen Fall würde sich einfach nur eine Projektion der Spaltöffnung auf die Rückseite 12 der Maske 10 ergeben. Die Bedingung lautet:

$$\lambda \cdot z > 2 \cdot s^2 .$$

Auch die numerische Apertur der Projektionslinse weist einen unteren Grenzwert auf, oberhalb dessen eine Projektion des Interferenzmusters vorteilhaft ausgeführt werden kann:

$$NA > d / z .$$

Die Einhaltung dieser beiden Bedingungen, insbesondere unter
5 Berücksichtigung eines großen Abstandes zu diesen Grenzwerten, führt zu besonders vorteilhaften Meßergebnissen mit hoher Qualität.

Figur 7 zeigt die Anordnung zur vollständigen Vermessung der
10 Quelle. Durch eine mit einem Winkel γ gedrehte Anordnung wird mittels weiterer Doppelspalte 20''' die Beleuchtungsquelle 1 in weiteren Richtungen auf ihre Lichtverteilung hin vermessen. Die in Figur 7 dargestellte Matrix ermöglicht somit eine
15 Ermittlung der räumlichen Helligkeitsverteilung der Lichtquelle.

Das Interferenzmuster repräsentiert nicht nur die absolute
Ausdehnung der Beleuchtungsquelle 1, sondern vielmehr auch
die Ausdehnung θ von Konturlinien gegebener Intensität der
20 Quelle. Durch die Fouriertransformation können daher auch Gradienten innerhalb der Lichtverteilung bestimmt werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird das erfindungsge-
mäßige Verfahren dazu verwendet, die Telezentrizität der Be-
25 leuchtungsquelle zu bestimmen. Wie in Figur 9 zu sehen ist, kann es bei Beleuchtungsquellen zu einer gegenüber der optischen Achse des Linsensystems geneigten bzw. dezentrierten Strahlungsrichtung der Beleuchtungsquelle kommen. Diese Dezentrierung der Beleuchtungsquelle führt zu einer lateralen
30 Verschiebung des Interferenzmusters auf der Rückseite 12 der Maske 10. Dies trifft aber nur zu für Interferenzmuster von Doppelspaltstrukturen 20 mit besonders kleinen Spaltabständen d. Spaltstrukturen 20 mit besonders kleinen Spaltabständen d bewirken ein besonders breites Interferenzmuster 30.

35 Dagegen wird aus dem Interferenzmuster 30 eine Position derjenigen Interferenzlinien herausgesucht, deren Intensität in

der Substratebene 5 die größte für das gesamte Interferenzmuster 30 ist. Diese Position ist mit der Position der Doppelspalte zu vergleichen. Diese Referenzposition der Doppelspalte kann auf verschiedene Weise in die Substratebene
5 übertragen werden, in dem Ausführungsbeispiel etwa dadurch, daß in einer Doppelbelichtung in einem weiteren Schritt mit einer ersten, nicht umgedrehten Maske vorab Referenzmarken in einer Umgebung der Doppelspaltstrukturen 20 in die Substratebene 5 abgebildet werden. Erst danach wird die Maske mit
10 den Doppelspalten mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet, um das Fernfeldinterferenzmuster 30 zu bilden.

Figur 10 zeigt, daß nur für kleine Neigungswinkel der Strahlungsrichtung der Beleuchtungsquelle 1 gegenüber der optischen Achse ein linearer Zusammenhang zu der lateralen Ver-
15 schiebung auf dem Halbleitersubstrat führt. In dem Beispiel wurde eine numerische Apertur von 0,7 und $\sigma = 0,1$ verwendet. Die Belichtungswellenlänge λ beträgt 248 nm, der Defokus 50 μm . Dargestellt ist ein Bereich von Neigungswinkeln zwischen
20 0 und 0.4 mrad. Eine tatsächliche Neigung der Belichtungsquelle von 10 mrad ergibt bei diesem Zusammenhang eine laterale Verschiebung von 0,5 μm . Bei einer Dicke z der Maske 10 von 6.300 μm würde sich hieraus eine laterale Verschiebung von 6.3 μm pro 1 mrad Telezentrität ergeben. Mit einer Auf-
25 lösungsgrenze von 150 nm der Sensoren auf dem Substrathalter in der Substratebene 5 ist daher eine Auflösung der Neigungswinkel von 10 μrad technisch durchführbar.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle (1) in einem Belichtungsgerät, welches die Beleuchtungsquelle (1), eine Maskenhalterung (3), ein optisches Linsensystem (4) und eine Substratebene (5) umfaßt, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen des Belichtungsgerätes,
- Bereitstellen einer Maske (10) mit einer ersten Seite (11), auf welcher eine opake Schicht (25) angeordnet ist, und einer gegenüberliegenden zweiten Seite (12) mit einer Oberfläche, wobei in der opaken Schicht (25) wenigstens zwei zueinander parallele Spalte (20) angeordnet sind, welche voneinander durch einen Abstand (d) getrennt sind
- Einbringen der Maske (10) in die Maskenhalterung (3), wobei die erste Seite (11) mit der opaken Schicht (25) der Beleuchtungsquelle (1) zugewandt ist,
- Beleuchten der opaken Schicht (25) mittels der Beleuchtungsquelle (1) zur Bildung eines Interferenzmusters (30) der wenigstens zwei zueinander parallelen Spalte (20) auf der Oberfläche der zweiten Seite (12) der Maske (10),
- Abbilden des auf der zweiten Seite (12) der Maske (10) gebildeten Interferenzmusters (30) durch das optische Linsensystem (4) in die Substratebene (5),
- Aufnahme eines Bildsignals von dem abgebildeten Interferenzmuster (30) in der Substratebene (5), welches zur Charakterisierung der Beleuchtungsquelle (1) die Lichtverteilung der Beleuchtungsquelle repräsentiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

- aus dem aufgenommenen Bildsignal ein Maximalwert und ein Minimalwert der Intensität des Interferenzmusters (30) zur Bestimmung eines Kontrastes (c) ermittelt wird,
- aus dem Abstand (d) der zueinander parallelen Spalte (20) und dem ermittelten Kontrast (c) eine Kontrastfunktion berechnet wird,

- eine Fourier-Transformierte aus der Kontrastfunktion zur Bestimmung der Lichtverteilung der Beleuchtungsquelle (1) berechnet wird.

5 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Aufnahme des Bildsignals mittels

- einer Belichtung eines photoempfindlichen Lackes auf einem Substrat in der Substratebene (5), und
- 10 - eines anschließenden Entwicklungsvorganges des Substrates (5) zur Entfernung belichteter Lackanteile, und
- einer daran anschließenden Ausmessung des Höhenprofils unbelichteter Lackanteile in einem Mikroskop durchgeführt wird.

15

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Aufnahme des Bildsignals mittels eines in der Substratebene (5) verfahrbaren Sensors durchgeführt wird.

20

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Beleuchtungsquelle (1) ein weiteres optisches Linsen- und/oder ein Spiegelsystem umfaßt.

25

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß

- die Wellenlänge (λ) des von der Beleuchtungsquelle (1) ausgestrahlten Lichtes bestimmt wird,

30 - für den Schritt des Bereitstellens der Maske (10)

- a) eine Dicke (z) zwischen der opaken Schicht (25) auf der ersten Seite (11) und der Oberfläche auf der zweiten Seite (12) der Maske und/oder

- b) eine jeweilige Breite (s) der zueinander parallelen Spaltstrukturen (20)

35

derart ausgewählt wird, daß der Quotient aus dem Zweifachen des Quadrates der Breite (s) und der Dicke (z) weniger als die Wellenlänge (λ) beträgt.

- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
- eine Numerische Apertur (NA) einer Blende des optischen Linsensystems (2, 4) bestimmt wird,
 - für den Schritt des Bereitstellens eine Maske (10) mit
- 10 a) einer Dicke zwischen der opaken Schicht auf der ersten Seite (11) und der Oberfläche auf der zweiten Seite (12) der Maske (10) und/oder
- b) dem Abstand (d), mit welchem die zueinander parallelen Spaltstrukturen (20) voneinander getrennt sind,
- 15 derart ausgewählt wird, daß der Quotient aus dem Abstand (d) und der Dicke (z) weniger als die Numerische Apertur (NA) beträgt.

- 20 8. Maske (10) zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle (1), umfassend
- ein transparentes Trägermaterial,
 - eine opake Schicht (25),
 - ein erstes Paar zweier zueinander paralleler Spalte (20'''), welche durch einen ersten Abstand (d1) voneinander getrennt sind und in der opaken Schicht (25) angeordnet sind,
- 25
- ein zweites Paar zueinander paralleler Spalte (20''), welche durch einen zweiten Abstand (d2) voneinander getrennt sind und in der opaken Schicht (25) angeordnet sind,
- 30
- wobei der zweite Abstand (d2) mehr als der erste Abstand (d1) beträgt.

9. Maske nach Anspruch 8,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
- 35
- ein drittes Paar zueinander paralleler Spalte (20'''), welche durch den ersten Abstand (d1) voneinander getrennt sind und in der opaken Schicht (25) angeordnet sind,

- wobei die Spalte des ersten Paares eine Längsseite (90) mit einer ersten Ausrichtung in der opaken Schicht besitzen, und
- die Spalte des zweiten Paares eine Längsseite (91) mit einer zweiten Ausrichtung in der opaken Schicht besitzen, und
- die erste und die zweite Ausrichtung einen Winkel (γ) einschließen.

10. Maske nach einem der Ansprüche 8 oder 9,

gekennzeichnet durch eine matrizenförmige Anordnung (100) einer Vielzahl von Paaren jeweils zueinander parallel ausgebildeter Spalte (20, 20', 20'', 20''', 20'''),

a) wobei die Spalte der jeweiligen Paare

- mit unterschiedlichen Abständen (d1-d4) voneinander getrennt sind,
- Längsseiten (90, 91) mit unterschiedlichen Ausrichtungen in der opaken Schicht (25) aufweisen, und

b) wobei die Matrizenform (100) Reihen (101) und Spalten

(102) aufweist und jedes Paar zueinander paralleler Spalte (20)

- in einer Reihe (101) der Matrix genau einen Wert der Anzahl unterschiedlicher Abstände (d1-d4) der Spalte (20) aufweist,
- in einer Spalte (102) der Matrix genau einen Winkel (γ) der Anzahl unterschiedlicher Ausrichtungen der Längsseiten (90, 91) der Spalte (20) aufweist.

Zusammenfassung

Verfahren zur Charakterisierung einer Beleuchtungsquelle in einem Belichtungsgerät

5

Eine Maske (10) mit wenigstens einem Paar zueinander paralleler Spaltstrukturen (20), welche voneinander durch einen Abstand (d) getrennt in einer opaken Schicht (25) angeordnet sind, wird in eine Maskenhalterung (3) gebracht. Die die opake

10

Schicht aufweisenden Seite (11) der Maske wird dabei in Richtung auf die Beleuchtungsquelle (1) gewendet. Bei einer Belichtung der Maske (10) wird durch die Spaltstrukturen (20) ein Fernfeld-Interferenzmuster (30) auf der gegenüberliegenden Rückseite (12) der Maske (10) erzeugt. Durch das Linsen-

15

system (4) des Belichtungsgerätes wird das Interferenzmuster (30) in die Substratebene (5) projiziert. Durch Belichtung einer photoempfindlichen Schicht eines Wafers oder durch Sensoren auf einem verfahrbaren Substrathalter wird das Interferenzmuster als Bildsignal aufgenommen. Durch Ermittlung des

20

Kontrastes (c) und anschließender Fourier-Transformation des Kontrastes als Funktion des Abstandes (d) der Spalte kann daraus die Lichtverteilung der Beleuchtungsquelle (1) abgeleitet werden. Eine besonders vorteilhafte Maske (10) weist

25

eine Vielzahl von Paaren von Spaltstrukturen (20) auf, die mit unterschiedlichen Winkeln gegenüber einer Vorzugsrichtung und unterschiedlichen Abständen (d) matrixförmig auf der Maske (10) angeordnet sind.

Figur 7

Bezugszeichenliste

	1	Beleuchtungsquelle
	2	Kondenserlinse
5	3	Maskenhalterung
	4	Objektivlinse
	5	Substratebene
	10	Maske, Retikel
	11	Vorderseite der Maske mit opaker Schicht
10	12	Rückseite der Maske mit transparenter Oberfläche
	20	parallele Spalte
	25	opake Schicht
	30	Interferenzmuster
	90, 91	Längsseite der Spalte
15	100	Matrixanordnung der Paare von Spalte
	101	Reihe in der Matrixanordnung mit jeweils gleichen Winkeln
	102	Spalte in der Matrixanordnung mit jeweils gleichen Abständen
20	c, c1-c4	Kontrast, Kohärenzfunktion
	d, d1-d4	Abstand der Spalte innerhalb eines Paares zueinander
	s	Breite eines Spaltes
	z	Dicke der Maske
25	λ	Wellenlänge der Beleuchtungsquelle
	γ	Winkel der Längsseite der Spalte gegen Vorzugsrichtung
	θ	Ausdehnung der Beleuchtungsquelle

Fig. 1

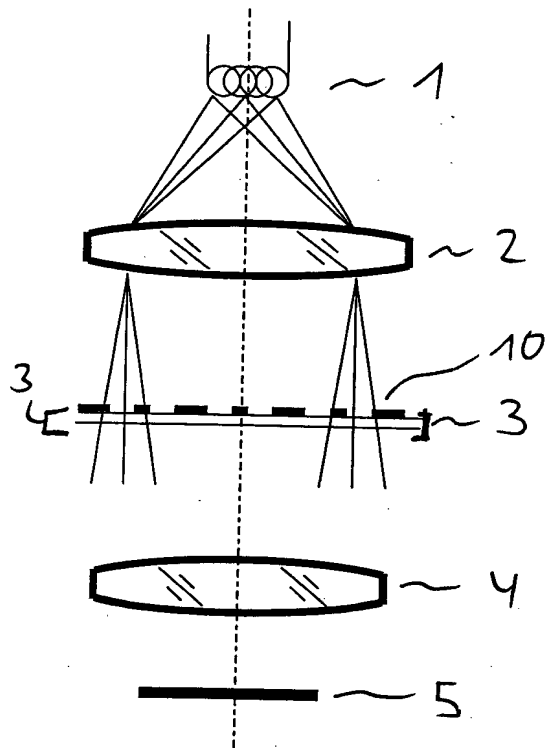


Fig. 2

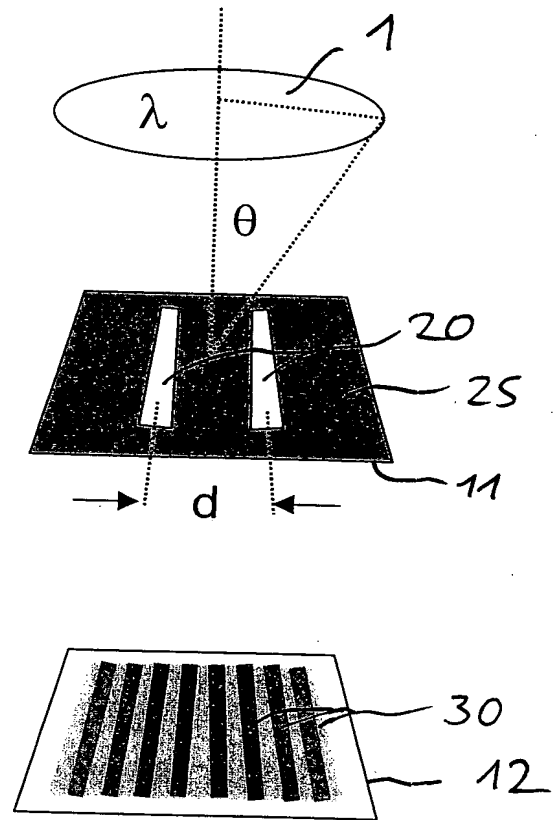


Fig. 3

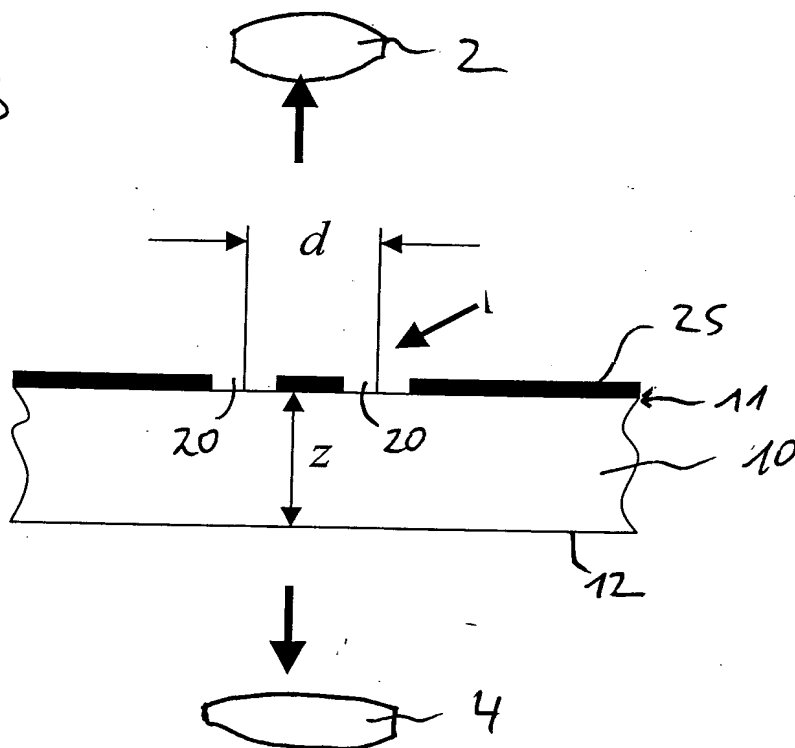


Fig. 4

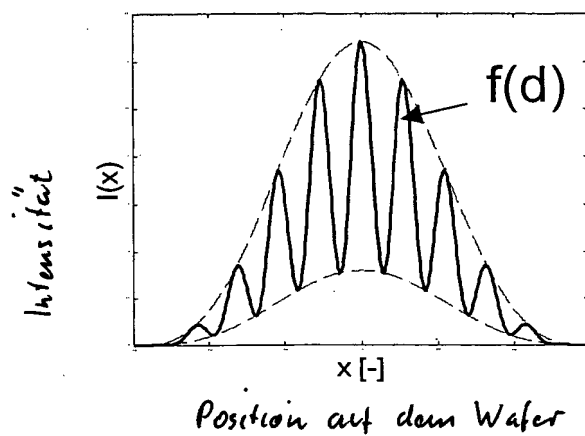
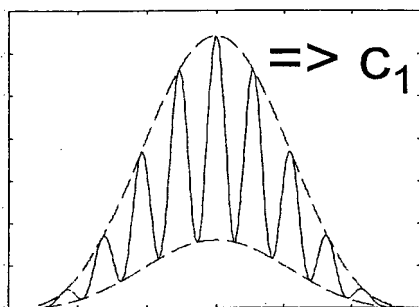
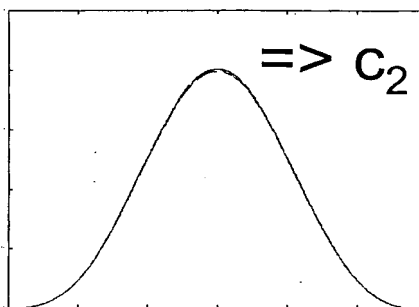


Fig. 5

$d_1 <$



d_2



$<$

d_3

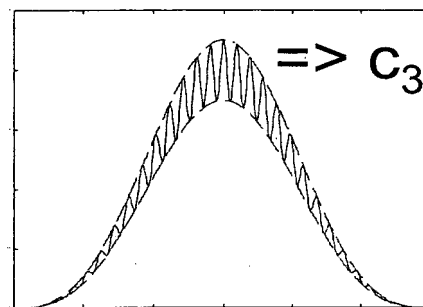


Fig. 6

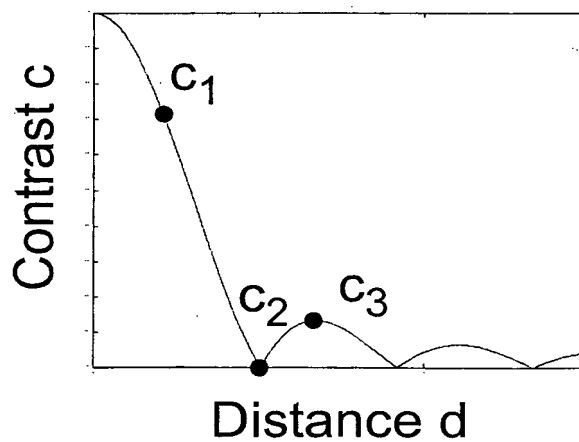


Fig. 7

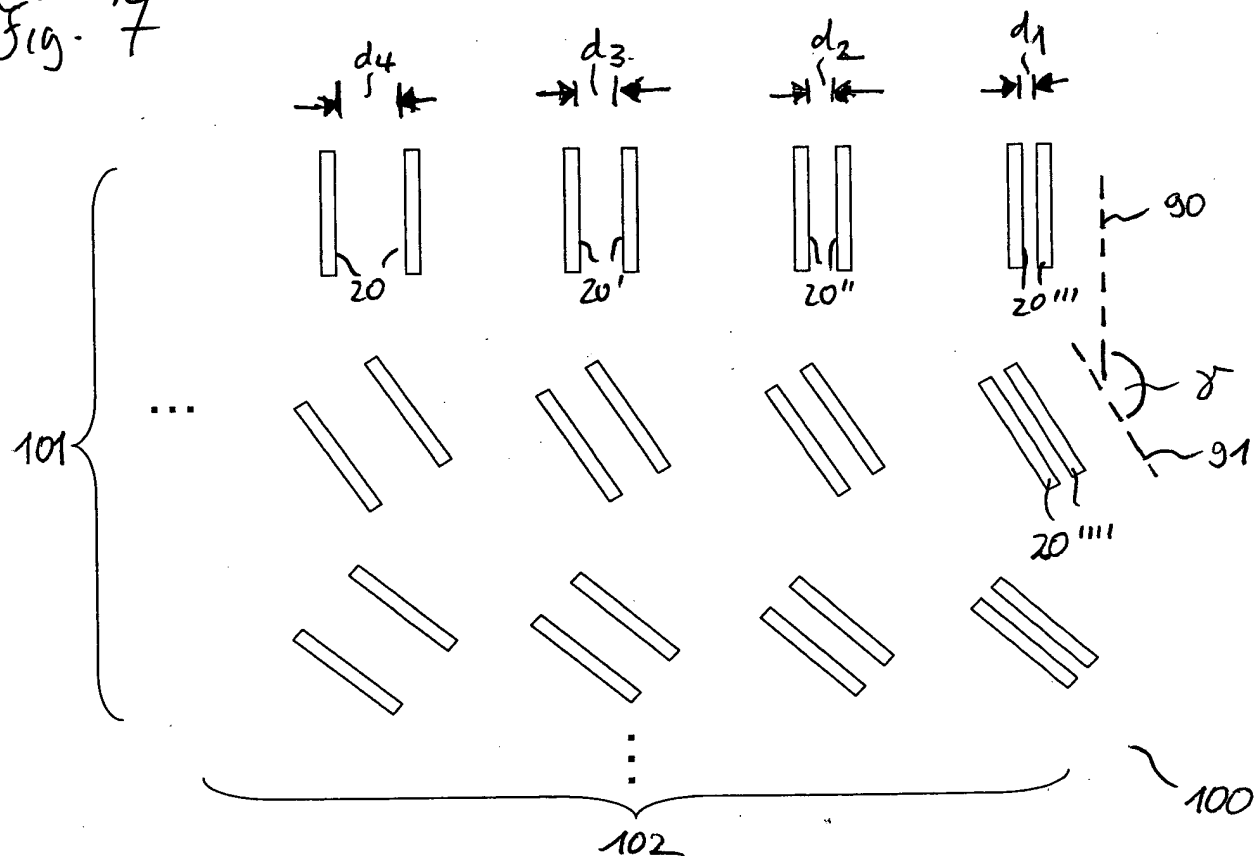


Fig. 8

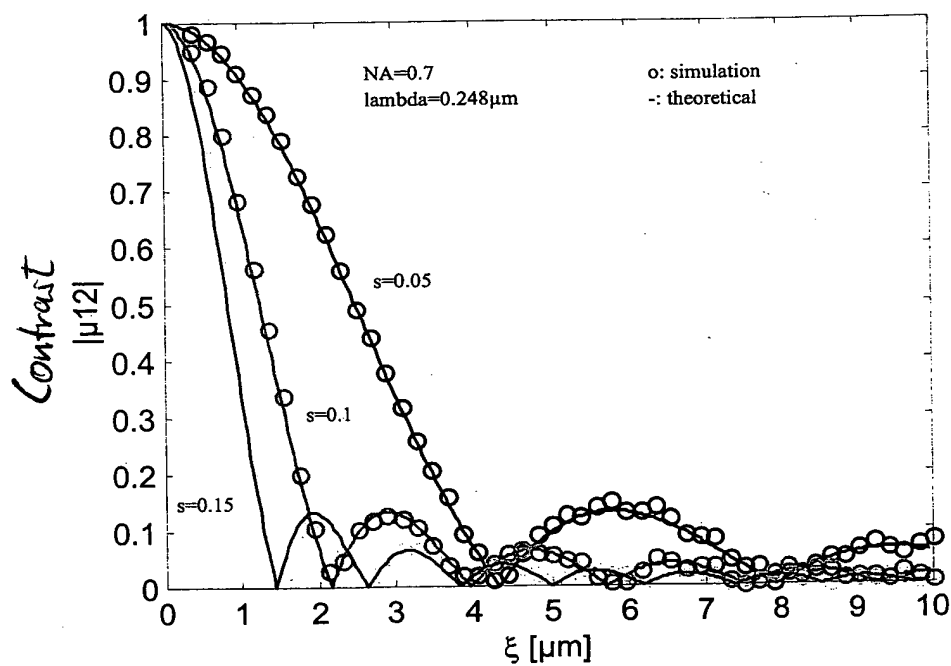


Fig. 9

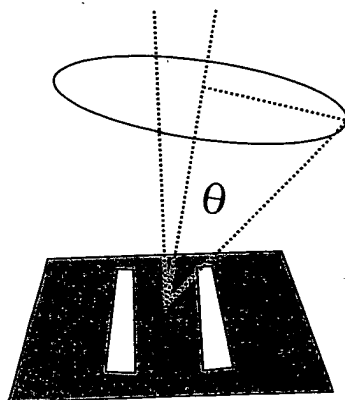


Fig. 10

